

A VÁLTAKOZÓ RENDSZERŰ KOMBINÁLT SZÁRÍTÁS ELMÉLETE ÉS GYAKORLATA

SZABÓ Gábor, RAJKÓ Róbert, HODÚR Cecília és
PAPP Gézőné

SZTE Szegedi Élelmiszeripari Főiskolai Kar
Élelmiszeripari Műveletek és Környezettechnika Tanszék
6724. Szeged, Mars tér 7.
Tel./Fax: 62/546-003
E-mail: szabog@szef.u-szeged.hu

ÖSSZEFOGLALÓ

Kísérleteink célja volt a csiperkegomba (*Agaricus Bisporus*) váltakozó rendszerű kombinált szárításának elméleti és gyakorlati vonatkozásainak tanulmányozása. Vizsgálataink eredményei azt mutatják, hogy a kombinált mikrohullámú és konvektív szárítás javítja a szárított termék fogyaszthatósági tulajdonságait.

A kísérletek többek között azt igazolták, hogy a csak mikrohullámú, ill. a csak konvekciós szárítás alkalmazásával elfogadható termék *nem* állítható elő. Ugyanakkor megfelelően végrehajtott, váltakozó rendszerű kombinált szárítással könnyű fogyaszthatóságú snack-termék *előállítható*, kifogástalanul visszanedvesíthető instant-termék azonban *nem*.

Az eredmények azt demonstrálják, hogy a leghatékonyabb szárítási stratégia az konvektív előszárítás az állandó száradási sebességű periódusban, majd azt követő mikrohullámú szárítás a csökkenő száradási sebesség első periódusában és végül ismét konvektív szárítás csökkenő száradási sebesség második periódusában a termék nedvességtartalmának egyenletes eloszlása érdekében. Az alkalmazott váltakozó rendszerű kombinált szárítási eljárás legfontosabb előnyei a szárítási idő csökkentése, az egyenletes hőmérséklet eloszlás és a termék puffadásának lehetősége.

Bevezetés

A szárítástechnológia egyik alapvető feladata a szárítandó anyag tulajdonságának és nedvességátvitelének irányítása, ami lehetővé teszi az előre meghatározott jellemzőkkel rendelkező és megfelelő minőségű termék előállítását (Baker, 1997; Toledo, 1994). A nyersanyag eredeti biológiai, íz- és tápértékének megtartása érdekében a kíméletes szárítási technológiáknak különös jelentősége van és ebből a szempontból egyre fontosabbá válik, a váltakozó rendszerű szárítási módszerek alkalmazása (Szabó és Rigó, 1998; Tulasidas et al., 1995).

A váltakozó rendszerű kombinált szárítás lehetőséget ad a nedvességátvitel mechanizmusának megváltoztatására, amellyel biztosítható az anyag belsejében lejátszódó folyamatok szabályozása, irányítása és így végeredményben a kívánt tulajdonságú termék előállítása (Szabó et al., 1998; Hodúr et al., 1998).

A kívánt minőségű termék előállítását biztosító szárítás, mint technológiai folyamat egyrészt függ az anyag előkészítésétől, másrészt jelentős mértékben függ a folyadék formájában történő nedvességátvitel mechanizmusától, melynek során az oldott anyagok a felület felé vándorolnak. A folyadék formájában történő nedvességátvitel jelentősége erőteljesebb, ha a nedvességvezető képesség és a hőnedvesség-vezető képesség által létrehozott nedvességáramok mozgásiránya megegyezik. Ezt a **mikrohullámú szárítással** biztosíthatjuk.

A mikrohullámú vízelvonás egyik jellegzetessége, hogy az általa generált hőmérséklet gradienes a konvektív szárítástól eltérő nedvességeloszlást idéz elő a száradó anyagban. A diffúziós nedvesség áram sokkal nagyobb az anyag belsejében, mint a felület-közel rétegekben. A nedvességrétegződési folyamat eredményeként a mélység növekedésével a nedvesség gradiens csökkeni fog, kompenzálendő a gyorsan növekvő diffúzitást, következésképpen a nedvességcsökkenés a halmaz teljes keresztmetszetére vonatkoztatva sokkal egyenletesebb lesz, mint a konvektív száradási folyamatban.

A váltakozó rendszerű, kombinált mikrohullámú, konvektív szárítás jelentős mértékben csökkenti a műveleti időt. Vizsgálatainkhoz alkalmazott modell anyag (*csiperke gomba – Agaricus Bisporus*) szárítási kísérleteivel kívántuk igazolni, hogy a száradó anyag tulajdonságait is figyelembe vevő szárítási stratégiák megtervezésével, a kolloid-kapilláris pórusos anyagok esetén a klasszikus kombinált szárítástól eltérő eljárással biztosítható a kívánt termékminőség.

Anyagok és módszerek

A klasszikus kombinálás azt jelenti, hogy bizonyos nedvességekötésig (a szabadon kötött víz, illetve a polimolekuláris, valamint részben a monomolekuláris nedvesség eltávolítására) célszerű a konvektív hőközlés, a száradás utolsó periódusában, a nedvesség kötési energia növekedése miatt célszerű a mikrohullámú szárítás. Kísérleteink során ettől eltérő eredményre jutottunk.

A szárítandó objektum jellemzése és piaci jelenősége

A gomba magas biológiai értékkel rendelkezik, választékosan elkészíthető, instant levesporok, hús és rizs ételek, raguk adalékanyagai és snack formában is kedvelt a fogyasztók körében. A magyar gombatermés 60-65 %-a, a gombaexport 90-95%-a csiperke, amelyből ~1% szárítmányként kerül forgalomba. A kis mennyiségű szárítmány többek között azzal magyarázható, hogy kevésbé kidolgozott a jó minőségű gombaszárítás technológiája.

Számos eljárással előállíthatunk gombaszárítmányt. Az **1. ábra** jól szemlélteti, hogy a legkiválóbb szárítmány a fagyasztva szárítással előállított termék. A kombinált mikrohullámú-konvekciós szárítással előállított termék ugyanakkor nem elégíti ki az előírt termékminőség követelményeit. Ennek oka minden bizonnyal az alkalmazott szárítási technológia hiányosságaiban keresendő.



1. ábra Különböző szárítási eljárásokkal előállított csiperke gomba*
(*Agaricus Bisporus*)

*(Torrington, E., Esveld, E., Scheewe, I., Berg, R., Bartels P. (2001). *Osmotic dehydration as a pre-treatment before combined microwave-hot-air drying of mushrooms*. Journal of Food Engineering Vol. 49. No. 3-4 pp. 185-191)

I. konvekciós szárítás II. kombinált mikrohullámú-konvekciós szárítás III. mikrohullámú szárítás vákuumban IV. fagyasztva szárítás

A gomba természeténél fogva kolloid diszperz anyag, szerkezete alapján pedig kapillaris-pórusos, sejtszövetekből álló test. A folyadék részben, mint sejtlé tölti ki a testeket. Másrészt a kolloid sejtfalak és a sejtekben lévő más kolloid gélek tartalmazzák a folyadékot. Az ilyen típusú anyagok váltakozó rendszerű, mikrohullámmal kombinált szárítása eredményesen megvalósítható. A mikrohullámú szárítás eredményessége nagymértékben termékfüggő és számos tényező befolyásolja, így az anyag geometriája, termikus, fizikai és dielektromos tulajdonságai stb. A hőmérséklet eloszlást mikrohullámú szárításkor a **2. ábra** szemlélteti.

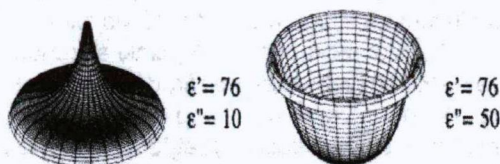


2. ábra A gomba két-dimenziós hőmérséklet profilja mikrohullámú szárításkor*

*(Ponne, C. T. (1966). *Interaction of electromagnetic energy with vegetable food constituents*. Ph.D. Thesis, Technical University Eindhoven, NL.)

sötét rétegek: alacsony hőmérséklet; világos rétegek: magas hőmérséklet

Ezen a jellegzetesen egyenetlen hőmérséklet eloszláson a termék előkezelésével és a váltakozó rendszerű eljárás műveleti paramétereinek helyes megválasztásával javíthatunk. A termékkezelés hatását mutatja a **3. ábra**.



3. ábra A mikrohullámú energia téreloszlása 4 cm átmérőjű henger esetére*

*(Ponne, C. T. (1966). *Interaction of electromagnetic energy with vegetable food constituents*. Ph.D. Thesis, Technical University Eindhoven, NL.)

baloldal: víz 0% NaCl (g/g), alacsony veszteségi tényező

jobb oldal: víz 4% NaCl (g/g), magas veszteségi tényező

A kísérleti ütemterv

- a gomba száradási tulajdonságainak vizsgálata (nedvességtartalom meghatározása, szárítás-kinetikai görbe, száradási sebességgörbe felvétele),
- konvektív szárítás modellezése (meghatározott időközönként vett minták nedvességtartalmának meghatározásával),
- a blansírozás, ill. antioxidáns-adagolás hatásának vizsgálata,
- váltakozó rendszerű kombinált szárítás vizsgálata (konvektív előszárítás után vákuumban pihentetés, majd azt követő impulzus –váltakozó – üzemi mikrohullámú szárítás, végül konvektív utószárítás-nedvesség equalizálás).

A kísérletekhez felhasznált gombát a KORONA GOMBAIPARI EGYESÜLÉS (Hódmezővásárhely) gombatermesztő telephelyéről szállítottuk, ügyelve arra, hogy mindig frissen szedett és egyenletes méretű nyersanyagot kapjunk.

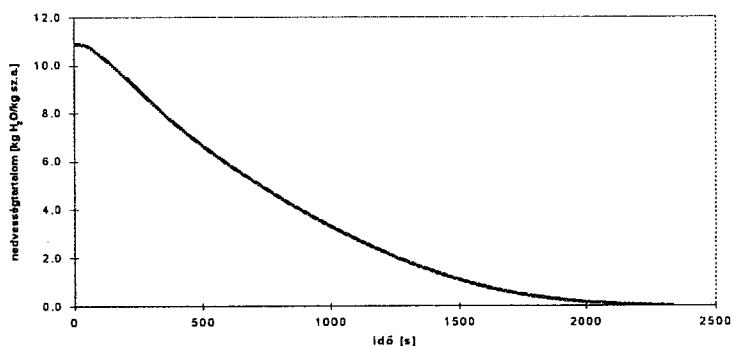
A konvektív szárítást gőzzel fűtött **termoventilátorral**, a mikrohullámú kezelést Bucher gyártmányú **LABOTRON 500** típusú vákuumozható, forgótálcás készülékkel végeztük.

Eredmények és értékelés

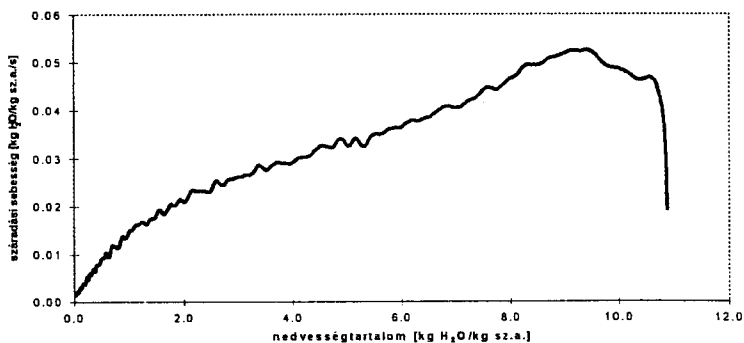
Vizsgáltuk a csiperke gomba szárítás kinetikáját és meghatároztuk az egyes száradási periódusokban a váltakozó rendszerű szárítás műveleti idejét.

Szárítás-kinetikai vizsgálatok

OHAUS inframérleg segítségével meghatároztuk a csiperke gomba **szárítás-kinetikai** (4. ábra) és **száradási sebesség** (5. ábra) görbéit. A szárítási sebesség-görbe alapján megállapítható, hogy a szárítandó objektum a *kolloid-kapilláris* pórusos anyagokra jellemző **száradási szakaszokkal** rendelkezik. A gyors felmelegedést követi az állandó sebességű száradási szakasz az első kritikus nedvességtartalomig (W_{kr1}), majd a csökkenő száradási sebességű szakasz W_{kr2} inflexiós pontja, a nedvességvezetés mechanizmusának módosulásával magyarázható (5. ábra).



4. ábra. Csiperke OHAUS inframérleggel kapott szárítás-kinetikai görbéje



5. ábra. Csiperke OHAUS inframérleggel kapott száradási sebességgörbéje

Az első száradási sebességű szakaszban konvektív, a csökkenő száradási sebességű szakasz első periódusában mikrohullámú, míg a második periódusban újból konvektív szárítást alkalmaztunk. Az így végrehajtott **váltakozó rendszerű** szárítás esetén, a száradási idő meghatározására külön kell összefüggést keresnünk a W_0 - W_{kr1} , a W_{kr1} - W_{kr2} és a W_{kr2} - W_e periódusokra.

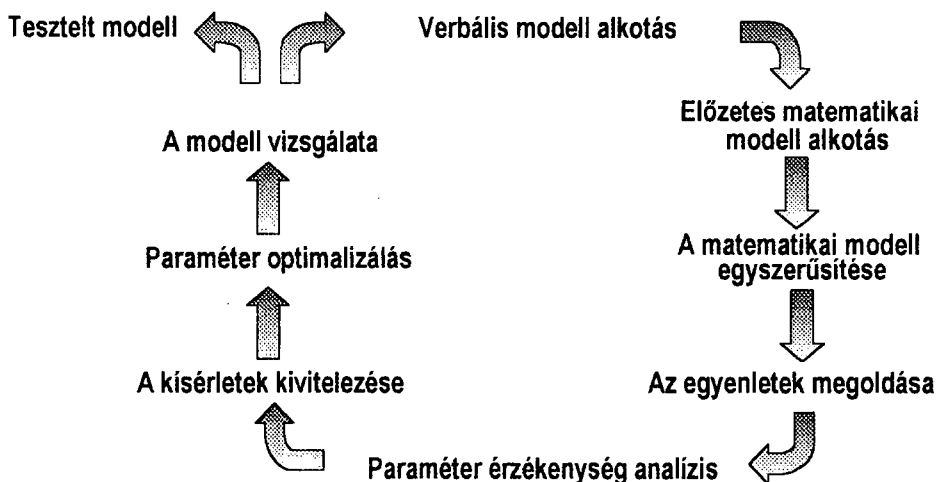
A váltakozó rendszerű kombinált szárítás elméleti modellje

A váltakozó rendszerű kombinált szárítási modellalkotás folyamatát a **6. ábrán** követhetjük, amely általában alkalmazható hasonló feladatok megoldására.

Kutatásunk célkitűzése volt olyan kémleles eljárás kidolgozása, amelynek eredménye új típusú élvezeti (*gyorsanoldódó - instant és/vagy könnyű - snack-szerű*) tulajdonságokkal rendelkező termék előállítása, ún. váltakozó rendszerű, konvektív és mikrohullámú szárítás kombinálását magába foglaló technológiával. Kritériumként tekintettük, hogy a termék a visszanedvesítés után az eredeti friss gombához – *annak fogyaszthatósági tulajdonságait tekintve* – a lehető legteljesebb mértékben hasonlítson.

A *verbális modellalkotást* követte az *előzetes matematikai modell alkotás*. megszerkesztettük a szárítás-kinetikai és száradási sebesség görbéket a száraz anyagra vonatkoztatott nedvességtartalom függvényében (**7. ábra**) és egyenesekkel közelítettük a csökkenő száradási sebességű periódusokat. Ezt követte a *matematikai modell egyszerűsítése* (**8. ábra**) és az *egyenletek megoldása*. Különböző szárítási stratégiák végrehajtásával értékeltük a műveleti paraméterek érzékenységet és a kísérleteket végrehajtottuk.

A műveleti paraméterek optimalizálásával értékeltük a termékminőséget és korrekciókat hajtottunk végre. További vizsgálatokra van azonban szükség, hogy a modellt *tesztelt modellként* fogadjuk el.



6. ábra. A modell alkotás folyamata

A modell vizsgálata

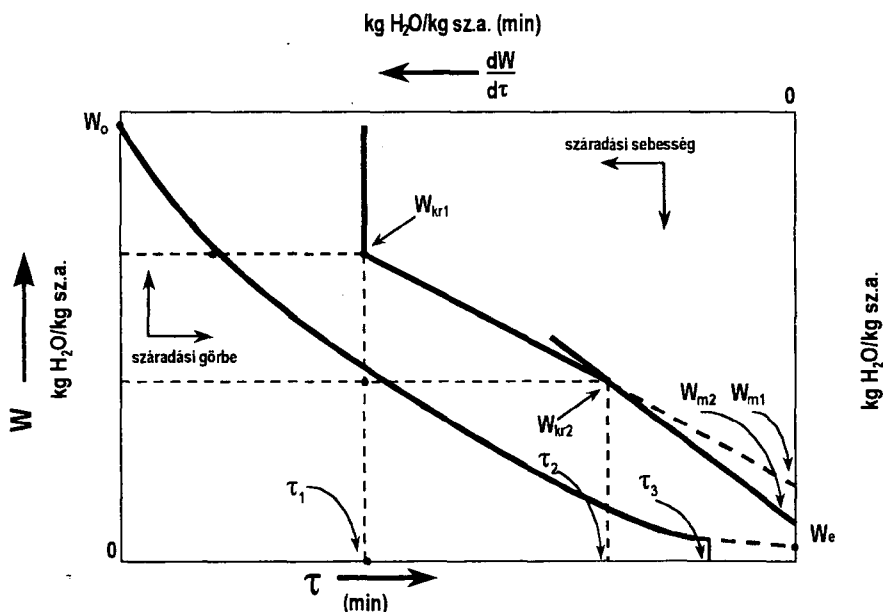
A matematikai modell megalkotásához megszerkesztettük a 7. ábra szerinti szárítás-kinetikai görbét és száradási sebességgörbét. Nevezzük el a $-\frac{dW}{d\tau} = 0$ száradási sebességhez tartozó, az abcisszát kimetsző nedvességtartalmakat rendre maradék nedvességtartalomnak (W_{m1} , W_{m2}) és határozzuk meg az egyes száradási periódusokhoz tartozó műveleti időket.

Az állandó sebességű száradási szakaszra az alábbi egyenletet írhatjuk fel:

$$-\frac{dW}{d\tau} = R \quad (1)$$

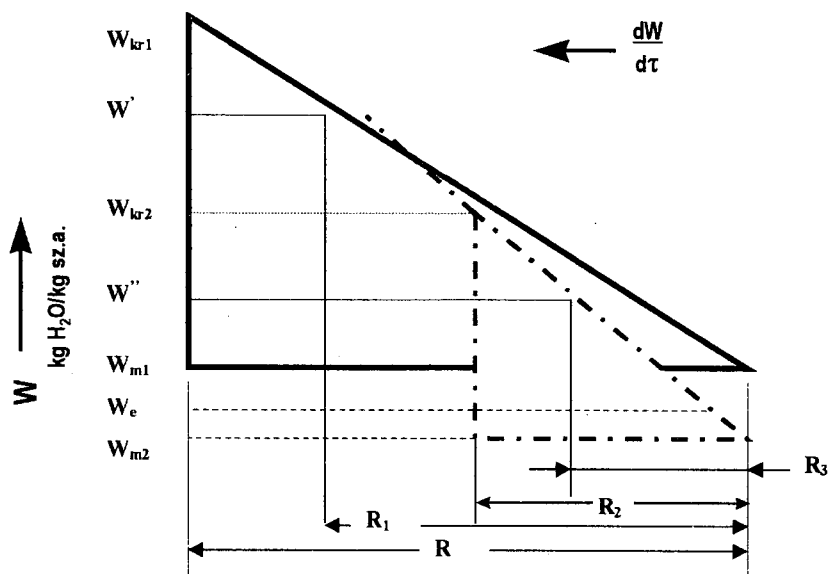
Az állandó sebességű szakaszban a száradási idő:

$$\tau_1 = \frac{W_0 - W_{kr1}}{R} \quad (2)$$



7. ábra. Szárítás-kinetikai görbe és száradási sebességgörbe

A matematikai modell egyszerűsítését a 8. ábrán szemléltetjük. A vastagított vonallal jelzett háromszög a csökkenő száradási sebességű szakasz első periódusának, míg a vastagított szaggatott háromszög a csökkenő száradási sebességű szakasz második periódusának egyszerűsített modellje.



8. ábra. Segédábra a műveleti idők meghatározásához

Az ábrán alkalmazott jelölések rendre: R - W_{kr1} értékhez tartozó maximális száradási sebesség; R_1 a csökkenő száradási sebességű szakasz első periódusa W' aktuális értékéhez tartozó száradási sebesség; R_2 - a csökkenő száradási sebességű szakasz első periódusa W_{kr2} értékéhez tartozó száradási sebesség; R_3 -a csökkenő száradási sebességű szakasz második periódusa W'' aktuális értékéhez tartozó száradási sebesség; W_{kr1} , W_{kr2} - kritikus nedvességtartalmak; W' - aktuális nedvességtartalom a csökkenő száradási sebességű szakasz első periódusában; W'' - aktuális nedvességtartalom a csökkenő száradási sebességű szakasz második periódusában; W_{m1} , W_{m2} - maradék nedvesség tartalmak; W_e - egyensúlyi nedvességtartalom.

A csökkenő száradási sebességű szakasz első periódusára (W_{kr1} - W_{kr2} tartományra) a folytonos vonallal rajzolt háromszög esetén felírhatjuk az alábbi hasonlóságot :

$$\frac{W_{kr1} - W_{m1}}{R} = \frac{W' - W_{m1}}{R_1} \Rightarrow R_1 = \frac{R}{W_{kr1} - W_{m1}} (W' - W_{m1}) \quad (3)$$

A száradási sebességre felírhatjuk:

$$\frac{d(W' - W_{kr1})}{d\tau} = \frac{R}{W_{kr1} - W_{m1}} (W' - W_{m1}) \quad (4)$$

Rendezzük és integráljuk a fenti egyenletet τ_1 - τ_2 - és W_{kr1} - W_{kr2} határértékek között és megkapjuk a csökkenő száradási sebességű szakasz első periódusának (a mikrohullámú kezelés) műveleti idejét:

$$\int_{W_{kr1}}^{W_{kr2}} \frac{d(W' - W_{kr1})}{R \left(\frac{W' - W_{m1}}{W_{kr1} - W_{m1}} \right)} = \int_{\tau_1}^{\tau_2} d\tau \quad (5)$$

$$\tau_2 - \tau_1 = \frac{W_{kr1} - W_{m1}}{R} \ln \frac{W_{kr1} - W_{m1}}{W_{kr2} - W_{m1}}$$

A csökkenő száradási sebességű szakasz második periódusára (W_{kr2} - W'' tartományra) a szaggatott vonallal rajzolt háromszög esetén felírhatjuk az alábbi hasonlóságokat:

$$\frac{W_{kr1} - W_{m1}}{R} = \frac{W_{kr2} - W_{m1}}{R_2} \Rightarrow R_2 = \frac{R}{W_{kr1} - W_{m1}} (W_{kr2} - W_{m1}) \quad (6)$$

$$\frac{W_{kr2} - W_{m2}}{R_2} = \frac{W'' - W_{m2}}{R_3} \Rightarrow R_3 = \left(\frac{R_2}{W_{kr2} - W_{m2}} \right) (W'' - W_{m2}) \quad (7)$$

Helyettesítsük be R_2 értékét az R_3 -ra kapott összefüggésbe és kapjuk az alábbi rendezett egyenletet:

$$R_3 = \left(\frac{W_{kr2} - W_{m1}}{W_{kr2} - W_{m2}} \right) \left(\frac{R}{W_{kr1} - W_{m1}} \right) (W'' - W_{m2}) \quad (8)$$

Rendezzük és integráljuk a fenti egyenletet τ_2 - τ_3 - és W_{kr2} - W_e határértékek között és megkapjuk a csökkenő száradási sebességű szakasz második periódusának (a nedvesség equalizálás konvektív hőközléssel) műveleti idejét:

$$\int_{W_{kr2}}^{W_e} \frac{d(W'' - W_{m2})}{\left(\frac{R}{W_{kr1} - W_{m1}} \right) \left(\frac{W_{kr2} - W_{m1}}{W_{kr2} - W_{m2}} \right) (W'' - W_{m2})} = \int_{\tau_2}^{\tau_3} d\tau \quad (9)$$

$$\tau_3 - \tau_2 = \left(\frac{W_{kr1} - W_{m1}}{R} \right) \left(\frac{W_{kr2} - W_{m2}}{W_{kr2} - W_{m1}} \right) \ln \left(\frac{W_{kr2} - W_{m2}}{W_e - W_{m2}} \right)$$

A teljes műveleti idő váltakozó rendszerű kombinált szárításra:

$$\tau = \tau_1 + (\tau_2 - \tau_1) + (\tau_3 - \tau_2) = \left(\frac{W_0 - W_{kr1}}{R} \right) + \left[\frac{W_{kr1} - W_{m1}}{R} \ln \left(\frac{W_{kr1} - W_{m1}}{W_{kr2} - W_{m1}} \right) \right] + \left(\frac{W_{kr1} - W_{m1}}{R} \right) \left(\frac{W_{kr2} - W_{m2}}{W_{kr2} - W_{m1}} \right) \ln \left(\frac{W_{kr2} - W_{m2}}{W_e - W_{m2}} \right) \quad (10)$$

A váltakozó rendszerű kombinált szárítás tesztelt modellje

A szárítás időtartamát számos, a gyakorlati megvalósításból eredő egyéb tényező is befolyásolja, ezért pontos meghatározása csak kísérleti úton történhet (Beke, 1997). Kifinomult kísérlettervezési módszereket (Rajkó et al., 1997) előzetes kísérletek nélkül nem tudunk alkalmazni, így az alábbi vizsgálatokat hajtottuk végre.

Szárítás termoventillátorral

Előkészítés: mosás hideg vízzel, szár eltávolítása a gomba kalapjával egy vonalban. Aprítás: 5 mm vastag szeletek. Levegő áramlási sebessége: 2 m/s. Szárító levegő hőmérséklete: 80°C. Rétegvastagság: 60 mm. Mintavétel 20 percenként. A nedvességtartalmat HR 73 METTLER TOLEDO halogén gyorsnedvesség mérővel, ill. 105°C-on szárítószekrényben határoztuk meg.

A mérési eredmények azt mutatták, hogy a gyors nedvességtartalom-mérő a kisebb nedvességtartalom tartományban (50% alatt) nagy torzítású eredményt szolgáltat, így rutinszerű használata különös gondosságot igényel.

Szárítás mikrohullámmal

A mikrohullámú kezelések során különböző tömegű mintákat szárítottunk tömegállandóságig úgy, hogy 1 perces kezelés után 30 másodpercig pihentettük a mintát és közben végeztük el a tömegmérést. A mikrohullámú kezelés tömegállandóságig szárított mintájának maradék nedvességtartalmát a gyors

nedvességtartalom-meghatározó készülékkel határoztuk meg. Ezek a kísérletek egyrészt azt igazolták, hogy légköri nyomáson mikrohullámú kezeléssel kb. 5-6% vég-nedvességtartalom érhető el, másrészt pedig az üregrezonátor tér terhelése nagymértékben befolyásolja az elérhető nedvességtartalmat.

Termoventilátorral történő előszárítás-pihentetés után szárítás mikrohullámmal

A mérések során a mintát 1 perces kezelés után 1 percre pihentettük és ezalatt mértük meg a tömegét, az eredményeket a **I. táblázat**ban mutatjuk be. A mérési eredmények igazolják, hogy a 60, ill. 80 perces előszárítás után *(a felületi rétegképződés következményeként)* nedvességcsökkenés nem érhető el mikrohullámú kezeléssel, így az előszárítás ideje maximum 40 perc lehet.

I. táblázat. Különböző idejű termoventilátoros előszárítás után következő mikrohullámú kezelés során tapasztalt tömegcsökkenés

Mikrohullámú kezelési idő [min]	Tömegcsökkenés [g]				
	a termoventilátorral történő előszárítás idejének függvényében				
	Nyers minta	20 min	40 min	60 min	80 min
Kezd. tömeg →	8,27	9,05	5,61	4,64	6,51
0	8,27	4,99	1,35	0,57	0,63
1	6,92	4,72	1,22	0,57	0,63
2	4,50	4,06	1,08	0,57	0,63
3	3,29	3,43	0,98	0,57	0,63
4	2,78	2,97	0,92		
5	2,50	2,60	0,88		
Maradék. Nedv. tart.	W=73,15[%]	W=71,71[%]	W=48,15[%]	W=33,77[%]	W=15,97[%]

A kísérleteink további folytatásához, az üzemi paraméterek optimalizálása érdekében különböző szárítási stratégiákat állítottunk fel. Az alábbiakban két példával összegezzük eddigi eredményeinket.

Száritási stratégiák

S1: ($W_{\text{kezd}}=90\%$, $t=70^{\circ}\text{C}$, $v=2\text{m/s}$, 2min előfőzés, 0,1% citromsavas+0,1% borkén+0,1% NaCl)

- konvektív előszárítás 50% nedvességtartalomig
 - 1 min pihentetés vákuumban (20mbar)
 - 7 min 500W-on MW kezelés 1,5 min pihentetés vákuumban
 - konvektív utószárítás-nedvesség egalizálás
- (Termékminőség: szürkésbarna szívacsos szerkezet, barnás héj, vissznedvesítéskor erős kéregképződés)

S2: ($W_{\text{kezd}}=90\%$, $t=60^{\circ}\text{C}$, $v=2\text{m/s}$, 2min előfőzés, 0,3% citromsavas+0,1% borkén+0,1% NaCl)

- Konvektív előszárítás 40 % nedvességtartalomig
 - 1 min pihentetés vákuumban (20 mbar)
 - 5 min 500 W-on MW kezelés 1,5 min pihentetés vákuumban
 - konvektív utószárítás-nedvesség egalizálás
- (Termékminőség: szívacsos szerkezet, barnás héj, száraz, ropogós SNACK vissznedvesítéskor erős kéregképződés)

Következtetések

Kísérleteink többek között azt igazolták, hogy a csak mikrohullámú, ill. a csak konvekciós szárítás alkalmazásával elfogadható termék nem állítható elő. Ugyanakkor megfelelően végrehajtott és „kézben tartott”, **váltakozó rendszerű**, kombinált szárítással könnyű fogyaszthatóságú snack-termék **előállítható**, kifogástalanul visszanedvesíthető instant-termék azonban nem.

Bizonyítottuk, hogy a klasszikus kombinált mikrohullámú-konvektív szárítástól eltérően a csökkenő száradási sebességű szakasz első periódusában alkalmazott mikrohullámú kezelés eredményesen javítja a végtermék minőségét. Megállapítottuk, hogy a blansírozás és az antioxidánsok alkalmazása előnyösen befolyásolta a terméken belüli egyenletesebb hőmérséklet eloszlás kialakulását.

A kísérletek alapján megállapíthatjuk, hogy a csiperkegomba felületén, még váltakozó rendszerű kombinált szárítás alkalmazása esetén is olyan erős kéreg alakul ki, mely gátolja az instant jelleg kialakulását. Az általunk alkalmazott valamennyi kísérleti terv eredményeként előállított termék, forró vízben visszanedvesítve, szívós jelleget mutatott.

A javasolt szárítási stratégiával - konvekciós előszárítást (40% *nedvességtartalomig*) követő pihentetés, majd azt követő impulzus –váltakozó üzemi- mikrohullámú kezelés (500 W *névleges teljesítmény*, 20 mbar *nyomáson pihentetés*, 5-6 perces MW kezelés), végezetül 1-2 perces nedvesség egalizálás konvektív szárítás – SNACK tulajdonságokkal rendelkező csiperke gomba előállítható.

Irodalom:

- Baker C.G.J. (1997) *Industrial Drying of Foods*. Chapman & Hall, New York.
- Beke J. (1997) *Terményszárítás*. Agroinform, Budapest.
- Hodúr C., Szabó G., Rajkó R. (1998) Agglomeration-drying by microwave. *Bulletins for Applied Computer Mathematics. BAM* – 1532/98 – LXXXVI – A, pp. 215-223.
- Neményi M., Czaba I., Jáni T. (2000) Investigation of simultaneous heat and mass transfer within the maize kernels during drying. *Computers and Electronics in Agriculture*. Vol. 26. pp. 123-135.
- Ponne, C. T. (1966). Interaction of electromagnetic energy with vegetable food constituents. *Ph.D. Thesis*, Technical University Eindhoven, NL.
- Rajkó R., Szabó G., Vidal-Valverde C., Kovács E. (1997) Designed experiments for reducing antinutritive agents in soybean by microwave energy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Vol. 45. pp. 3565-3569
- Szabó G., Rajkó R., Hodúr C. (1998) Combined energy transfer (microwave–convective) by drying agriculture materials. *Hungarian Agricultural Engineering*. Vol. 11. pp. 23-25
- Szabó G., Rigó K. (2000) Agglomeration-drying of food powders by combined microwave/convectional energy transfer in vibro-fluid layer. *3rd Israeli Conference for Conveying and Handling of Particulate Solids*. The Dead Sea, Israel. May 29-June 1, 2000. Proceeding Volume 1. pp. 2.20-2.28.
- Toledo R.T. (1994) *Fundamentals of Food Process Engineering*. Chapman & Hall, New York.
- Torringa. E., Esveld.E., Scheewe.I., Berg.R., Bartels P. (2001). Osmotic dehydration as a pre-treatment before combined microwave-hot-air drying of mushrooms. *Journal of Food Engineering* Vol. 49. No. 3-4 pp. 185-191
- Tulasidas T.N., Raghavan G.S.V., Mujumdar A.S. (1995) Microwave drying of grapes in a single mode cavity at 2450 MHz. *Drying technology* Vol. 3. No. 8-9. pp. 1949-1971.



A kutatásokat az FKFP-0261/2000 sz. és az OTKA T035125 sz. pályázatok támogatták.

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL STUDIES OF ALTERNATE SYSTEM OF COMBINED DRYING METHOD

G. SZABÓ, R. RAJKÓ, C. HODÚR and T. PAPP

SZTE University College of Food Engineering
Department of Unit Operations and Environmental Engineering
6724 Szeged, Mars tér 7.
Phone/Fax.: +36-62/546-003
E-mail: szabog@szef.u-szeged.hu

ABSTRACT

The purpose of our investigation was to study of theoretical and experimental aspects of alternate system of combined drying method of mushroom (*Agaricus Bisporus*). The results of our investigation show that the combined microwave and convective hot air drying can improve the eatable properties of dried product.

The experiments have justified that there is no possibility to produce satisfactory products by using only microwave or only convective drying. At the same time easy eatable, i.e., suitable alternate system of combined drying method could produce snack-like products, but instant products, which can be rehydrated perfectly, could not.

The results demonstrate that the more efficient drying strategy is convective pre-drying in constant rate, following microwave drying in first falling rate and again convective drying in the second falling rate for the equalisation of the moisture distribution of product. General advantages for the application of alternate system of combined drying method are reduction of drying time, uniform heating and possibility for puffing the material.



**This research was supported by the Hungarian Science
Foundation (No. OTKA T035125) and by the Research and
Development in Higher Education Foundation of Ministry of
Education (No. FKFP-0261/2000).**